

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 20 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属：東京農工大学大学院農学研研究院

氏 名：松原独歩

研究課題名：水掛かりを受ける合わせ梁型木材摩擦接合部のモーメント抵抗性能評価

助成金額：100 万円

研究実施期間：自 令和 7 年 4 月 1 日 ～ 至 令和 8 年 3 月 31 日

水掛かりを受ける合わせ梁型木材摩擦接合部の

モーメント抵抗性能評価

Evaluation of moment resistance performance of laminated beam-type timber friction joints
subjected to water

東京農工大学大学院農学研究院 准教授 松原独歩

（研究計画ないし研究手法の概略）

1. 背景・目的

我々は、木材にプレストレスを与えることで生じる部材間の摩擦抵抗を利用する木材摩擦接合部を開発し、エネルギー吸収部材として耐力壁に組み込むことで、剛性および減衰性能の大幅な向上を振動台実験等により明らかにした。この摩擦接合部は鋼板と木材をボルトで締付けるものであるが、摩擦力はボルト軸力に依存するため、その管理が重要となる。これまで、複数本ボルト接合を対象に、ボルトを逐次締付けると隣接するボルト軸力が変化するいわゆる弾性相互作用に関して実験・解析的検討を行い、ボルト軸力のばらつきは避けられないものの、ばらつきを極力抑制する締付け順序やボルト間隔等を明らかにした。一方で、摩擦接合部の長期使用を考慮した場合、ボルト締付け直後の性能をそのまま保持することは難しく、木材の応力緩和や乾燥収縮によってその性能は変化することが明らかにされている。しかし、建設時の雨水による水浸しあるいは洪水による水浸漬を受けるような短期的な事故的水掛かりを受けた場合において、接合部の性能がどのように変化するのか実験的なデータは乏しく、定量的な評価に結び付いていない現状にある。そこで本研究では、摩擦接合部が建設時に洪水による水浸漬を経験する場合を想定した水掛かり劣化促進実験を行い、水掛かりが摩擦接合部のボルト軸力やモーメント抵抗性能にどのような影響を及ぼすのか明らかにすることを目的とした。

2. 材料と実験方法

2.1 材料

実験概要図を図1に示す。木質材料は、長さ 630mm(繊維方向)×幅 180mm×厚さ 30mm のオウシュウアカマツ異等級構成集成材(E105-F300)を用いた。ボルトは M12 のスタッドボルト(長さ 120mm、ねじピッチ 1.75mm)を4本用いた。ボルトには、軸力を測定するためにひずみゲージを挿入し、実験前に万能試験機にて軸力校正を行った。座金は、中央に 13.5mm のボルト穴を空けた $\phi 40\text{mm}$ ×厚さ 3.2mm を用いた。座金の直下には、図2に示したように、中央に 13mm のボルト穴を空けた $\phi 35\text{mm}$ 、長さ 30mm のコナラ材を集成材繊維方向と直交方向に非接着挿入した。

2.2 実験方法

表面を三価クローム処理した長穴を設けた鋼板(図3参照)に集成材2枚を合わせ、ボルト4本で緊結した。ボルト初期軸力は 6.8kN(コナラ材の繊維方向長期許容圧縮応力度相当)を目標とし、トルクレンチによって締付けた。初期軸力を与えた後、図4に示したように、水槽に座金が覆われる程度の深さまで水道水を入れ、3日間水浸漬した。3日後、水槽より

試験体を取り出し L 型の固定治具に試験体を設置し、温湿度非制御の実験室内に放置した。水槽からの試験体取り出し後から 2 日、10 日、15 日、21 日目に図 1 に示したように、万能試験機を用いて試験体頂部付近に挿入したドリフトピンを介して接合部に正負漸増繰り返し荷重を加えた。試験速度は、200mm/min とした。繰り返しは試験機クロスヘッドの移動量で制御し、各移動量 3 回繰り返した。試験体脚部付近の側面に変位計を 4 か所設置し、回転角を算出した。なお、ボルト軸力は、水浸漬直前から、21 日目繰り返し加力実験の終了までデータロガーにてサンプリングした。

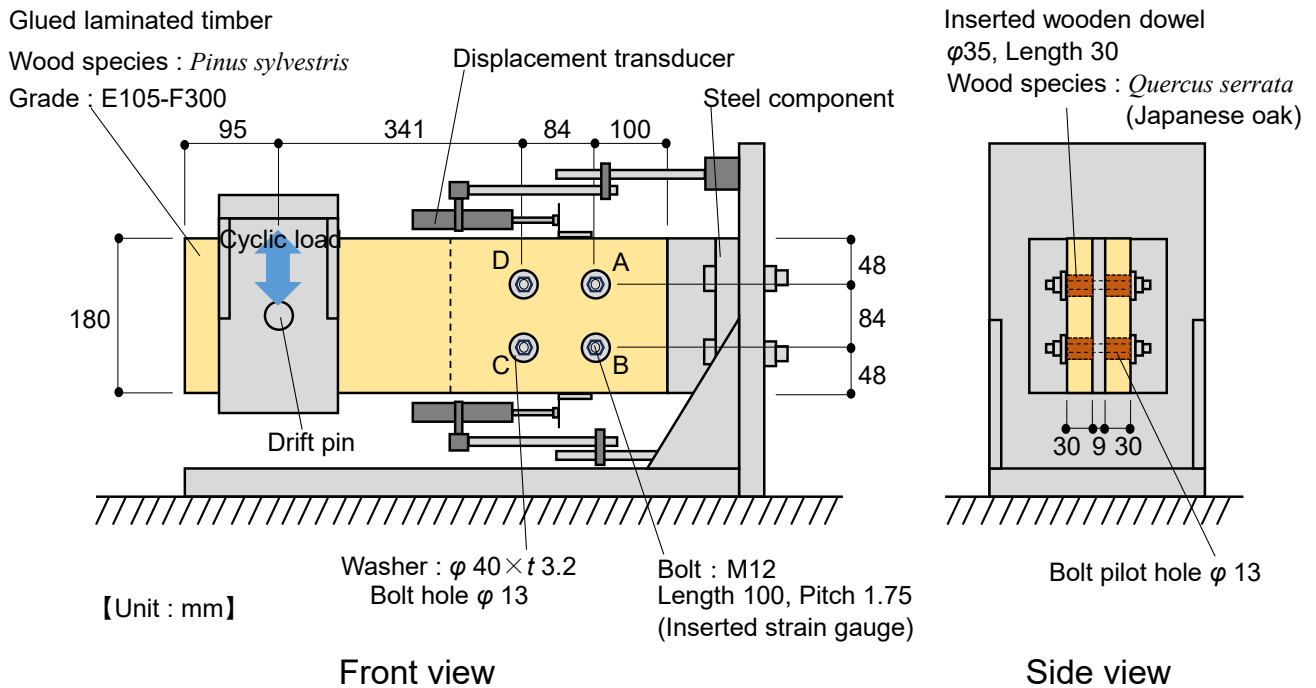


図 1 試験体および実験概要

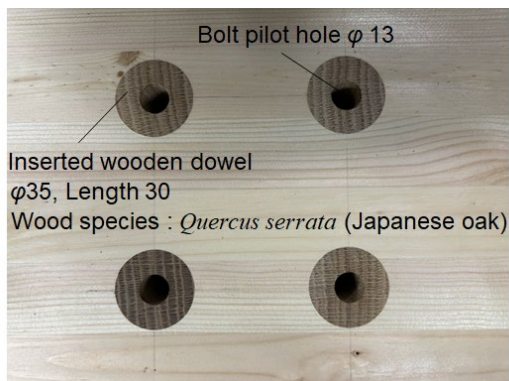


図 2 集成材に非接着挿入したコナラ木ダボ

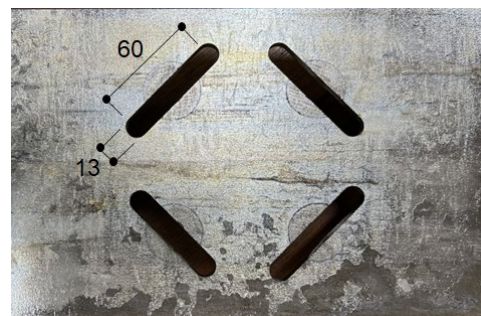


図 3 長穴を設けた鋼板(実験後写真)

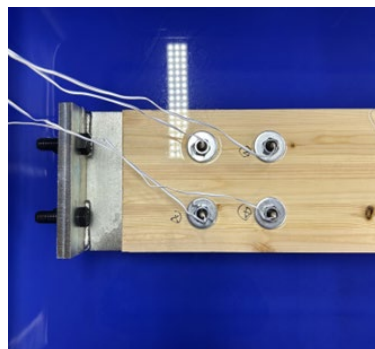


図 4 試験体の水浸漬時の様子

(実験調査によって得られた新しい知見)

3. 結果と考察

図 5 に、水浸漬開始から 21 日後までのボルト軸力比の経時変化をボルト毎に示す。また、図 6 に実験室の温湿度変化を示す。ここでボルト軸力比は、ボルト初期軸力に対する計測軸力と定義する。なお、図中の記号 I、II、III、IV、V はそれぞれ、I：水浸漬期間、II：水槽より試験体の取り出しから 2 日間気中養生期間、III：2 日目繰り返し加力実験後から 10 日目繰り返し加力実験直前まで、IV：10 日目繰り返し加力実験後から 15 日目繰り返し加力実験直前まで、V：15 日目繰り返し加力実験直後から 21 日目繰り返し加力実験直前まで、を示す。また、A、B、C、D は図 1 の通り各ボルトを示す。

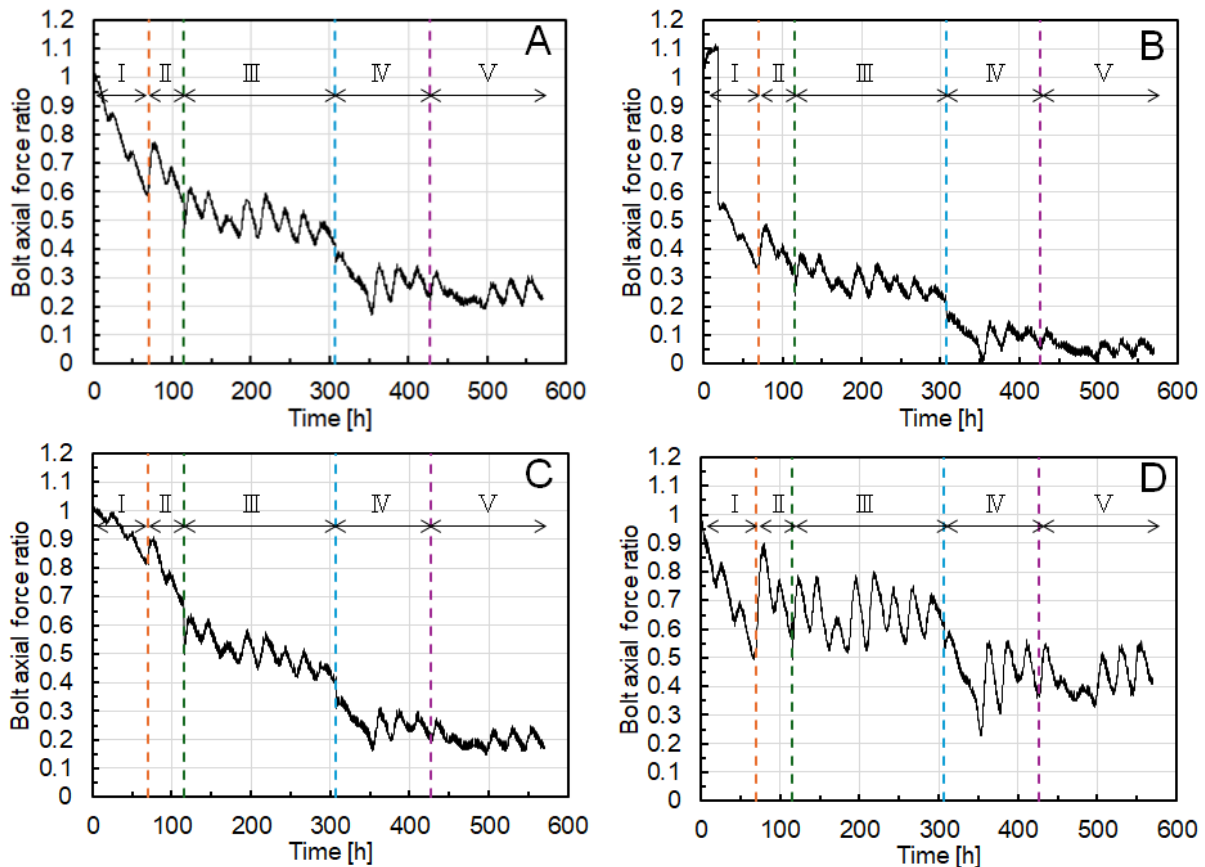


図 5 水浸漬開始から 21 日後までのボルト軸力比の経時変化

まず図 5 の I によれば、A、D は約 50～60%、C は約 20%、B は約 70% 軸力低下した。特に B の軸力低下が顕著であり、水浸漬開始約 20 時間経過後に急激な軸力低下が認められたことから、ボルト位置によって軸力低下の割合が大きく異なることがわかった。ここで、図 6 の温湿度変化によれば、水浸漬開始約 20 時間経過後に湿度が約 57% に達し、その後急激に低下している。一方で B の急激な軸力低下も約 20 時間経過後であった

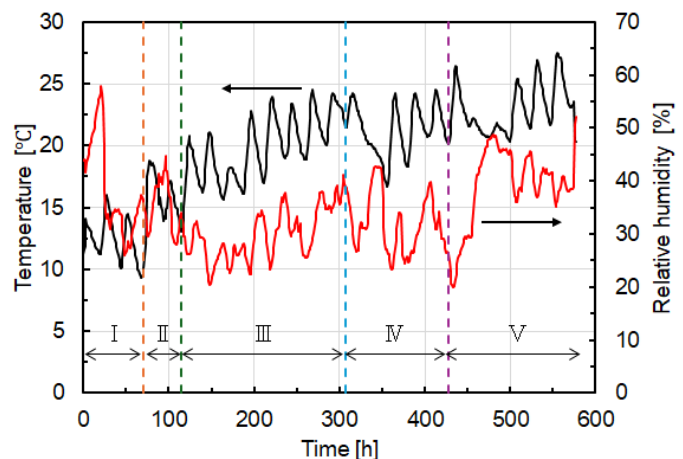


図 6 実験室内の温湿度変化

ことから、湿度変化が軸力低下に何かしらの影響を及ぼした可能性も考えられるが、詳細は定かではない。次にⅡによれば、試験体取り出し直後からいずれのボルトも軸力は急激に回復した。特にその回復は D において顕著であった。その後温湿度の変動に追随するように軸力の増減を繰り返しながら低下傾向となった。ここで図 7 に 2 日目繰り返し加力実験において得られたモーメントと回転角の関係を示す。これによれば、得られた復元力特性は一般的な木質接合部とは異なり、摩擦力によってピンチングのない大きな履歴ループ面積

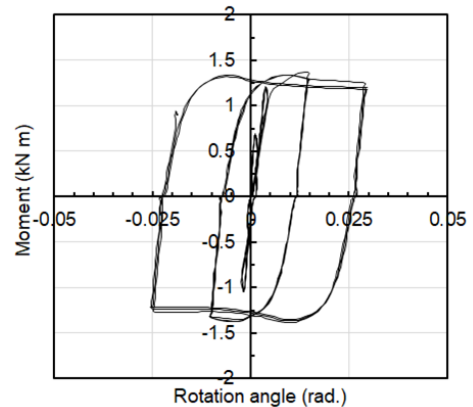


図 7 モーメント-回転角関係 (2 日目)

が認められ、摩擦接合の特徴に見られる安定した弾塑性履歴ループが確認された。第 1 象限の最大変形角時のモーメントは 1.25 kNm となったが、その時のボルト軸力は、A : 3.4 kN、B : 1.8 kN、C : 3.4 kN、D : 3.3 kN であり、鋼板-木材間の摩擦係数を 0.3 と仮定しこの軸力から計算される摩擦力からモーメントを計算すると 1.37 kNm となり、計測されたモーメントと近い値となった。図 8 に 2 日目繰り返し加力実験におけるボルト軸力の変化を示す。これによれば、繰り返し加力によって繰り返し加力実験開始前と比較し 10~20%の軸力低下が生じた。2 日目繰り返し加力実験以降、すなわちⅢ、Ⅳ、Ⅴは D を除いてボルト軸力は温湿度の増減と繰り返し加力によって低下傾向を示し、B に至ってはほぼ軸力は消失した。一方で D の軸力挙動を見ると、他のボルトとは軸力増減幅が明らかに異なることがわかる。これはボルト位置によって水分の浸透具合が異なるためであると推測される。ここで、ボルト軸力比と耐力比(2 日目繰り返し加力実験で得られた第 1 象限の最大変形角時のモーメントを 1 とした時の比)の関係を図 9 に示す。これによれば、耐力比は 21 日目には 0.5 となり、全ボルトの軸力比の平均値 0.3 よりも高い値となった。これは時間経過と共に鋼板と木材(ダボ)間の摩擦係数が変化したものと考えられ、2 日目繰り返し加力実験時の摩擦係数よりも高い摩擦係数を示したものと推測される。

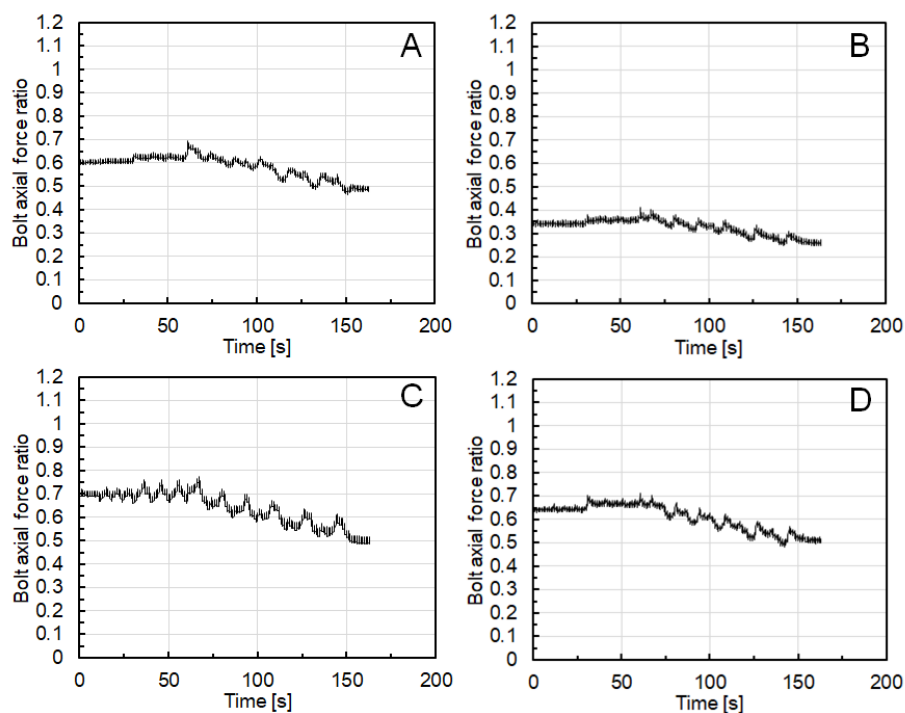


図 8 繰り返し加力に伴う軸力変化 (2 日目)

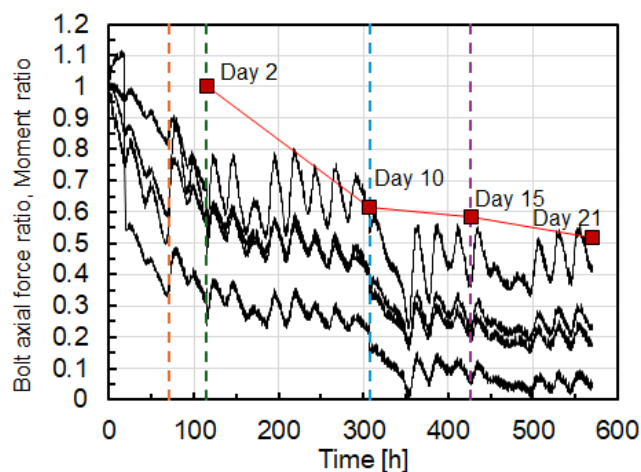


図 9 ボルト軸力比と耐力比

4. まとめ

合わせ梁型木材摩擦接合部の水掛かり劣化促進実験を行い、水掛かりがボルト軸力およびモーメント抵抗性能に及ぼす影響を調べたところ、以下の知見が得られた。

- 1) 水浸漬 3 日間でボルト軸力は減少するが、ボルト位置によってその減少率は大きく異なった。
- 2) 水浸漬 3 日間後の気中放置期間のボルト軸力は、温湿度変化に応じて増減を繰り返し、減少傾向となった。ボルト位置によっては軸力がほぼ消失する箇所が認められた。
- 3) 気中放置 2 日目、10 日目、15 日目、21 日目のモーメントと回転角の関係を調べたところ、21 日目には、2 日目と比較し 50% 程度耐力は低下したものの、安定した弾塑性履歴ループが確認された。

以上のことから、合わせ梁型木材摩擦接合部は、水浸漬によってボルト軸力の減少とばらつきは避けられないものの、摩擦力は残存ボルト軸力に応じて維持され、摩擦接合の特徴である弾塑性履歴ループを示す高いエネルギー吸収性能とモーメント抵抗性能を発揮することがわかった。

(発 表 論 文)

論文投稿準備中